

Anhang A

Probenmaterial

Die hier dargestellten Daten wurden direkt aus dem Wachstumsprotokoll übernommen. Die Ladungsträgerzahlen und Beweglichkeiten hängen naturgemäß stark vom Beleuchtungszustand ab. Die tatsächliche Dicke der InAs-Schicht wird durch das Wachstumsprotokoll nicht exakt wiedergegeben.

Material 11316

Ladungsträgerzahl: $7,9 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-2}$

6082 cm²/Vs

Beweglichkeit: **6082 cm²/Vs**

Tunnelbarriere: **25 nm**

Material	Wiederholung	Temp. (°C)	Dicke (nm)
GaAs		650	200
AlAs	Start 40x	650	2
GaAs	Ende	650	2
Al _{0,35} Ga _{0,65} As		650	300
Si-Delta		650	0
Al _{0,35} Ga _{0,65} As		650	10
GaAs		635	25
InAs	16x	555	0.01 ML
GaAs		545	8
GaAs		635	22
AlAs	Start 29x	635	3
GaAs	Ende	635	1
GaAs		635	5

Material 11485

Ladungsträgerzahl: $6,43 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-2}$

Beweglichkeit: $2070 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

Tunnelbarriere: 15 nm

Material	Wiederholung	Temp. (°C)	Dicke (nm)
GaAs		650	200
AlAs	Start 40x	650	2
GaAs	Ende	650	2
$\text{Al}_{0.34}\text{Ga}_{0.66}\text{As}$		650	300
Si-Delta		650	0
$\text{Al}_{0.34}\text{Ga}_{0.66}\text{As}$		650	14
GaAs		635	15
InAs	16x	570	0.72 ML
GaAs		560	8
GaAs		635	22
AlAs	Start 10x	635	3
GaAs	Ende	635	1
GaAs		635	5

Material 11491

Ladungsträgerzahl: $6,99 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-2}$

Beweglichkeit: $5729 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

Tunnelbarriere: 20 nm

Material	Wiederholung	Temp. (°C)	Dicke (nm)
GaAs		650	200
AlAs	Start 40x	650	2
GaAs	Ende	650	2
$\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$		650	300
Si-Delta		650	0
$\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$		650	17
GaAs		635	20
InAs	16x	570	0.72 ML
GaAs		560	8
GaAs		635	22
AlAs	Start 21x	635	3
GaAs	Ende	635	1
GaAs		635	5

Material 12177

Ladungsträgerzahl: $4,64 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-2}$

Beweglichkeit: $111502 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

Tunnelbarriere: 40 nm

Material	Wiederholung	Temp. (°C)	Dicke (nm)
GaAs		700	200
AlAs	Start 10x	700	5
GaAs	Ende	700	5
GaAs		700	100
Al _{0.34} Ga _{0.64} As		700	150
GaAs	Start 33x	700	2
AlAs	Ende	700	1
GaAs		700	1
Si-Delta		580	0
GaAs		580	1
AlAs		580	1
GaAs	Start 7x	700	2
AlAs	Ende	700	1
Al _{0.34} Ga _{0.64} As		700	19
GaAs		700	20
GaAs		660	20
InAs	14x	610	0.2
GaAs		600	8
GaAs		660	22
AlAs	Start 50x	660	3
GaAs	Ende	660	1
GaAs		660	10
InAs	14x	610	0.2

Anhang B

Ergänzende Messungen

Bandlückenzustände

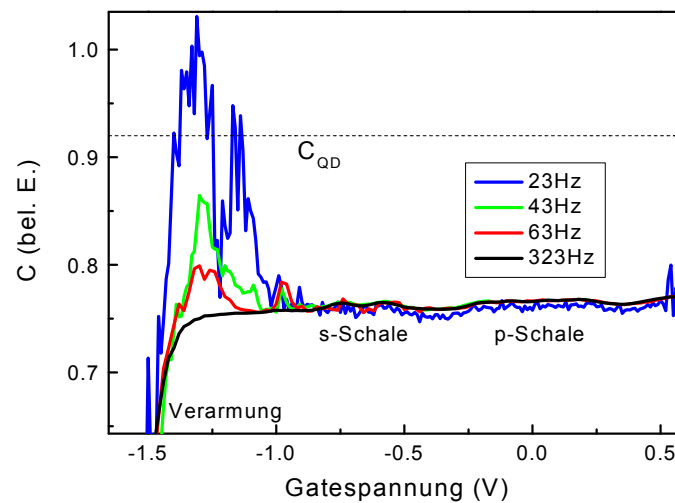


Abbildung B.1: Dargestellt ist die Kapazität der Probe 12177 in Abhängigkeit von der Messfrequenz. Bei Gatespannungen, die deutlich unterhalb der Ladespannung der Quantenpunkte liegen, wird ein breites Maximum beobachtet, welches mit zunehmender Frequenz kleiner wird und bei Frequenzen von über 100 Hz nicht mehr auflösbar ist. Als Ursache für diese Struktur in der Kapazität kommen möglicherweise Bandlücken-Zustände in die Quantenpunkte umgebenden GaAs in Frage [109, 110]. Die bei niedrigen Frequenzen maximal erreichte Kapazität stimmt recht gut mit dem für die Position der Quantenpunkte erwarteten Wert C_{QD} überein. Diese bisher nicht in diesem Zusammenhang diskutierten Zustände in der Bandlücke könnten somit eine der Ursachen der geringen Beweglichkeit von HEMT-Proben mit eingebetteten Quantenpunkten sein.

Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit

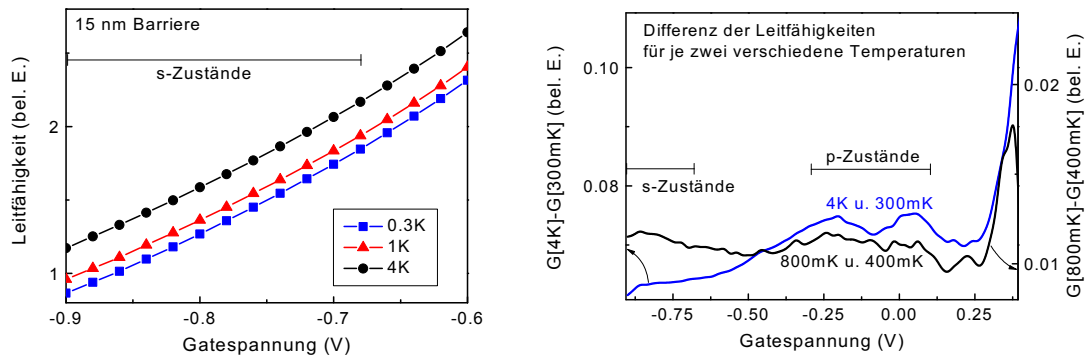


Abbildung B.2: Links: Die Leitfähigkeit der Probe 11485 steigt im gesamten Gatespannungsbereich mit zunehmender Temperatur an, also insbesondere dann, wenn das erste s -Niveau besetzt wird. Dieses einem Isolator ähnliche Verhalten ist im Einklang mit der Theorie des Quanten-Hall-Effektes. Sollte es also einen Kondo-Effekt bei einem ungepaarten Elektron pro Quantenpunkt in dieser Probe geben, so liegt die Kondo-Temperatur unterhalb von 300 mK. Rechts: Die Differenz der Leitfähigkeit für je zwei Temperaturen zeigt deutliche Strukturen im Bereich der p -Niveaus der Quantenpunkte. Die Quantenpunktelektronen beeinflussen den Transport im 2DEG umso stärker, je tiefer die Temperatur ist.

Magnetowiderstände bei tiefen Temperaturen

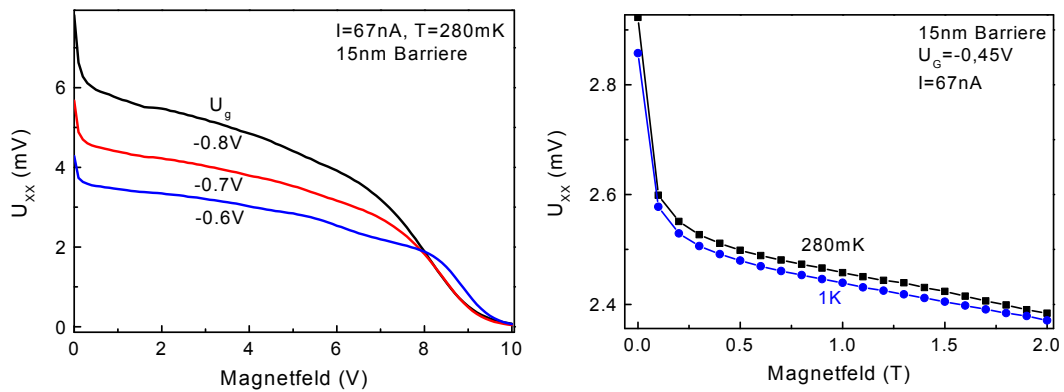


Abbildung B.3: Links: Der longitudinale Magnetowiderstand weicht in kleinen Magnetfeldern stark vom klassisch erwarteten konstanten Verlauf ab, vor allem, wenn durch eine deutlich negative Gatespannung kleine Ladungsträgerdichten vorliegen. Der Probenwiderstand fällt in sehr kleinen Magnetfeldern ($< 0,5\text{ T}$) bei kleinen Ladungsträgerdichten extrem stark ab und geht dann für höhere Magnetfelder in einen leicht linear oder quadratisch abfallenden Bereich über, bevor die Quanten-Oszillationen auftreten. Diese beiden derart unterschiedlichen Bereiche des negativen Magnetowiderstandes lassen darauf schließen, dass sie von zwei unterschiedlichen Effekten hervorgerufen werden. In kleinen Magnetfeldern und bei kleinen Ladungsträgerdichten liegt eine starke Lokalisierung verbunden mit dem sogenannten Variable Range Hopping als Transportmechanismus vor. Typisch für dieses Regime ist ein sehr großer Magnetowiderstand [111]. Der leichte Abfall des Widerstandes bei mittleren Magnetfeldern beruht auf der Aufhebung der schwachen (Anderson-)Lokalisierung im Magnetfeld. Rechts: Die zum Widerstand proportionale Längsspannung zeigt im Bereich der betrachteten Magnetfelder und Temperaturen keinen Metall-Isolator-Übergang, wie er in ähnlichen Proben gefunden wurde [112]. In weiterführenden Untersuchungen sollten vergleichbare Messungen in einem größeren Magnetfeldbereich durchgeführt werden.

Proben mit großen Tunnelzeiten

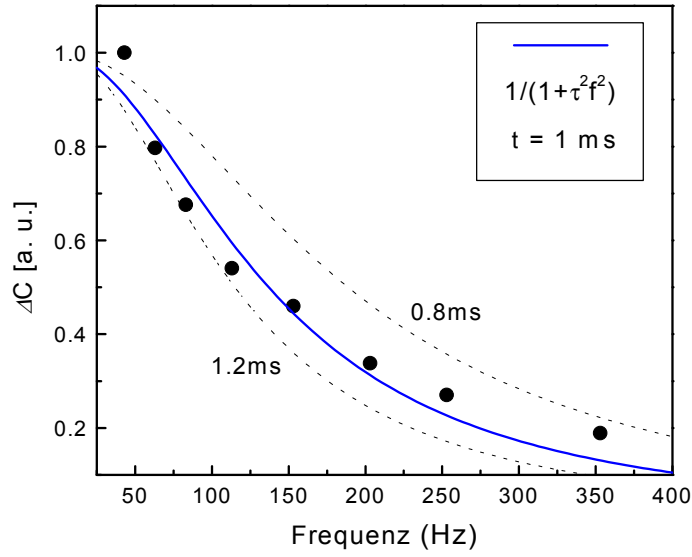


Abbildung B.4: Für zukünftige Überlegungen, zu den in dieser Arbeit verwendeten Proben ähnliche Strukturen als Speicher/Schaltelemente zu verwenden, ist das variable Einstellen der Tunnelzeit zwischen den Quantenpunkten und dem 2DEG von besonderer Bedeutung. Während durch kleine Tunnelbarrieren sehr kleine Tunnelzeiten weit unterhalb von $1\ \mu\text{s}$ realisiert werden können, sind andererseits auch Proben interessant, bei denen Elektronen sehr lange in den Quantenpunkten gespeichert werden können. Die Daten der hier dargestellten Abbildung wurden an einer Probe mit einer Tunnelbarriere von $30\ \text{nm}$ gewonnen, bei der ein Teil der Barriere ($15\ \text{nm}$) aus AlGaAs bestand. Aus der Frequenzabhängigkeit des durch das erste s -Elektron induzierten Kapazitätsmaximums kann auf die charakteristische Tunnelzeit geschlossen werden [43]. Es ergibt sich hier ein Wert von $1\ \text{ms}$, was etwa um einen Faktor 1000 größer ist als Werte von Proben ohne einen solchen AlGaAs Anteil in der Barriere [62].

Fotolumineszenz

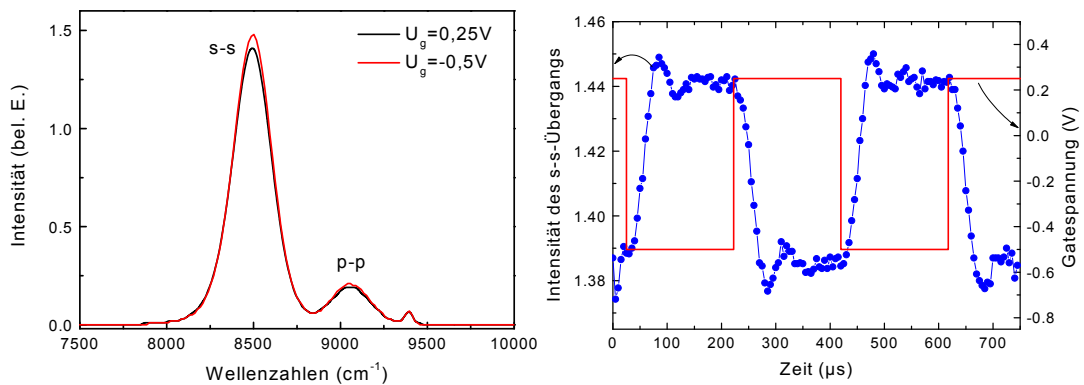


Abbildung B.5: Links: Fotolumineszenz einer Quantenpunktprobe mit einer 30 nm Tunnelbarriere (15 nm AlGaAs) für zwei verschiedene Gatespannungen. Die Intensität der Fotolumineszenz ist in geringem Maße abhängig von der Gatespannung. So können beispielsweise bei einer Gatespannung von 0,25 V die *s*-Zustände nach der Rekombination von Exzitonen aufgrund der effektiv erhöhten Barriere nicht so schnell wieder besetzt werden, wie bei einer Gatespannung von $-0,5\text{ V}$. Rechts: Mittels zeitaufgelöster Fourier-Transformations-Spektroskopie gemessene Fotolumineszenz bei einer Gatespannung, die in Rechteckform zwischen zwei Werten oszilliert. Mit Hilfe der Zeitauflösung kann die Realisierung der dem dynamischen Gleichgewicht entsprechenden Besetzung der Quantenpunkte beobachtet werden. Dieser Gleichgewichtszustand wird aus bisher nicht verstandenen Gründen in Form von gedämpften Oszillationen eingenommen.

Literaturverzeichnis

- [1] K. VON KLITZING, G. DORDA und M. PEPPER: *New method for high-accuracy determination of the fine-structure constant based on quantized Hall resistance*. Phys. Rev. Lett. **45**, 494 (1980)
- [2] D. J. THOULESS: *Localisation and the two-dimensional Hall-effect*. J. Phys. C. **14**, 3475 (1981)
- [3] T. ANDO, A. B. FOWLER und F. STERN: *Electronic properties of two-dimensional systems*. Rev. Mod. Phys. **54**, 437 (1982)
- [4] T. HEINZEL: *Mesoscopic Electronics in Solid State Nanostructures*. Wiley-VCH (2003)
- [5] J. H. DAVIES: *The physics of low-dimensional semiconductors*. Cambridge University Press (1998)
- [6] H. IBACH und H. LÜTH: *Festkörperphysik*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York (1995)
- [7] D. V. LANG und R. A. LOGAN: *Large-Lattice-Relaxation Model for Persistent Photoconductivity in Compound Semiconductors*. Phys. Rev. Lett. **39**, 635 (1977)
- [8] S. ADACHI: *GaAs and Related Materials*. World Scientific (1999)
- [9] E. H. HALL: *On a New Action of the Magnet on Electric Currents*. Am. Journ. Math. **2**, 287 (1879)
- [10] F. SCHWABEL: *Quantenmechanik*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York (2005)
- [11] R. J. HAUG, R. R. GERHARDTS, K. V. KLITZING und K. PLOOG: *Effect of repulsive and attractive scattering centers on the magnetotransport properties of a two-dimensional electron gas*. Phys. Rev. Lett. **59**, 1349 (1987)

- [12] K. BUTH und U. MERKT: *Quantum Hall effect in intentionally disordered two-dimensional electron systems*. Annalen der Physik **11**, 843 (2002)
- [13] T. ANDO: *Electron Localization in a Two-Dimensional System in Strong Magnetic Fields. III. Impurity-Concentration and Level-Mixing Effects*. Journ. Phys. Soc. Jpn. **53**, 3126 (1984)
- [14] B. I. HALPERIN: *Quantized Hall conductance, current-carrying edge states, and the existence of extended states in a two-dimensional disordered potential*. Phys. Rev. B **25**, 2185 (1982)
- [15] D. B. CHKLOVSKII, B. I. SHKLOVSKII und L. I. GLAZMAN: *Electrostatics of edge channels*. Phys. Rev. B **46**, 4026 (1992)
- [16] R. E. PRANGE und S. M. GIRVIN (Hg.): *The Quantum Hall Effect*. Springer, Heidelberg (1990)
- [17] K. SEEGER: *Semiconductor Physics*. Springer (1999)
- [18] F. STERN und W. E. HOWARD: *Properties of Semiconductor Surface Inversion Layers in the Electric Quantum Limit*. Phys. Rev. **163**, 816 (1967)
- [19] J. P. HARRANG, R. J. HIGGINS, R. K. GOODALL, P. R. JAY, M. LAVIRON und P. DELESCUSE: *Quantum and classical mobility determination of the dominant scattering mechanism in the two-dimensional electron gas of an AlGaAs/GaAs heterojunction*. Phys. Rev. B **32**, 8126 (1985)
- [20] S. DAS SARMA und F. STERN: *Single-particle relaxation time versus scattering time in an impure electron gas*. Phys. Rev. B **32**, 8442 (1985)
- [21] A. GOLD: *Scattering time and single-particle relaxation time in a disordered two-dimensional electron gas*. Phys. Rev. B **38**, 10798 (1988)
- [22] E. RIBEIRO, E. MÜLLER, T. HEINZEL, H. AUDERSET, K. ENSSLIN, G. MEDEIROS-RIBEIRO und P. M. PETROFF: *InAs self-assembled quantum dots as controllable scattering centers near a two-dimensional electron gas*. Phys. Rev. B **58**, 1506 (1998)
- [23] T. KAWAZU, T. NODA und H. SAKAKI: *Electron scattering in GaAs/n-AlGaAs selectively doped heterojunctions with charged and neutral InGaAs quantum dots*. phys. stat. sol. (c) **0**, 1325 (2003)

- [24] V. UMANSKY, R. DE PICCIOTTO und M. HEIBLUM: *Extremely high-mobility two dimensional electron gas: Evaluation of scattering mechanisms*. Appl. Phys. Lett. **71**, 683 (1997)
- [25] D. BIMBERG, M. GRUNDMANN und G. ABSTREITER: *Quantum Dot Heterostructures*. Wiley, Chichester (1998)
- [26] R. J. WARBURTON, B. T. MILLER, C. S. DÜRR, C. BÖDEFELD, K. KARRAI, J. P. KOTTHAUS, G. MEDEIROS-RIBEIRO, P. M. PETROFF und S. HUANT: *Coulomb interactions in small charge-tunable quantum dots: A simple model*. Phys. Rev. B **58**, 16221 (1998)
- [27] S. M. REIMANN und M. MANNINEN: *Electronic structure of quantum dots*. Rev. Mod. Phys. **74**, 1283 (2002)
- [28] S. TARUCHA, D. G. AUSTING, T. HONDA, R. J. VAN DER HAGE und K. L. P.: *Shell Filling and Spin Effects in a Few Electron Quantum Dot*. Phys. Rev. Lett. **77**, 3613 (1996)
- [29] D. LEONARD, M. KRISHNAMURTHY, C. M. REAVES, S. P. DENBAARS und P. M. PETROFF: *Direct formation of quantum-sized dots from uniform coherent islands of InGaAs on GaAs surfaces*. Appl. Phys. Lett. **63**, 3203 (1993)
- [30] H. DREXLER, D. LEONARD, W. HANSEN, J. P. KOTTHAUS und P. M. PETROFF: *Spectroscopy of Quantum Levels in Charge-Tunable InGaAs Quantum Dots*. Phys. Rev. Lett. **73**, 2252 (1994)
- [31] M. FRICKE, A. LORKE, J. P. KOTTHAUS, G. MEDEIROS-RIBEIRO und P. M. PETROFF: *Shell Structure and Electron-Electron Interaction in Self-Assembled InAs Quantum Dots*. Europhys. Lett. **36**, 197 (1996)
- [32] B. T. MILLER, W. HANSEN, S. MANUS, R. J. LUYKEN, A. LORKE, J. P. KOTTHAUS, S. HUANT, G. MEDEIROS-RIBEIRO und P. M. PETROFF: *Few-Electron Ground State of Charge-Tunable Self-Assembled Quantum Dots*. Phys. Rev. B. **56**, 6764 (1997)
- [33] V. FOCK: *Bemerkung zur Quantelung des harmonischen Oszillators im Magnetfeld*. Zeitschrift für Physik **47**, 446 (1928)
- [34] C. G. DARWIN: Proc. Cambridge Philo. Soc. **27**, 86 (1930)
- [35] U. MERKT, J. HUSER und M. WAGNER: *Energy spectra of two electrons in a harmonic quantum dot*. Phys. Rev. B **43**, 7320 (1991)

- [36] G. MEDEIROS-RIBEIRO, M. V. B. PINHEIRO, V. L. PIMENTEL und E. MARGA: *Spin splitting of the electron ground states of InAs quantum dots*. Appl. Phys. Lett. **80**, 4229 (2002)
- [37] R. HELD, S. LÜSCHER, T. HEINZEL, K. ENSSLIN und W. WEGSCHEIDER: *Fabricating tunable semiconductor devices with an atomic force microscope*. Appl. Phys. Lett. **75**, 1134 (1999)
- [38] B. J. VAN WEES, H. VAN HOUTEN, C. W. J. BEENAKKER, J. G. WILLIAMSON, L. P. KOUWENHOVEN, D. VAN DER MAREL und C. T. FOXON: *Quantized Conductance of Point Contacts in a Two-Dimensional Electron Gas*. Phys. Rev. Lett. **60**, 848 (1988)
- [39] T. DEMEL, D. HEITMANN, P. GRAMBOW und K. PLOOG: *One-Dimensional Plasmons in AlGaAs/GaAs Quantum Wires*. Phys. Rev. Lett. **66**, 2657 (1991)
- [40] R. E. WILLIAMS: *Modern GaAs Processing Methods*. Artech House Publishers (1990)
- [41] I. ISENBERG, B. R. RUSSEL und R. F. GREENE: *Improved Method for Measuring Hall coefficients*. Rev. Sci. Instr. **19**, 685 (1948)
- [42] S. JANDL, K. D. USADEL und G. FISCHER: *Resistivity measurements with samples in the form of a double cross*. Rev. Sci. Instr. **45**, 1479 (1974)
- [43] R. J. LUYKEN, A. LORKE, A. O. GOVOROV, J. P. KOTTHAUS, G. MEDEIROS-RIBEIRO und P. M. PETROFF: *The Dynamics of Tunneling into Self-Assembled InAs Dots*. Appl. Phys. Lett. **74**, 2486 (1999)
- [44] O. WIBBELHOFF, C. MEIER, A. LORKE, P. SCHAFMEISTER und A. D. WIECK: *Wave function mapping of self-assembled quantum dots by capacitance spectroscopy*. Physica E **21**, 516 (2004)
- [45] O. WIBBELHOFF, A. LORKE, D. REUTER und A. D. WIECK: *Magnetocapacitance probing of the many-particle states in InAs dots*. Appl. Phys. Lett. **86**, 026808 (2005)
- [46] G. MEDEIROS-RIBEIRO, F. G. PIKUS, P. M. PETROFF und A. L. EFROS: *Single-electron charging and Coulomb interaction in InAs self-assembled quantum dot arrays*. Phys. Rev. B **55**, 1568 (1997)
- [47] C. NOTTHOFF: *Spektroskopie von selbstorganisierten Quantenringen*. Diplomarbeit, Universität Duisburg-Essen (2004)

- [48] G. MEDEIROS-RIBEIRO, D. LEONARD und P. M. PETROFF: *Electron and hole energy levels in InAs self-assembled quantum dots*. Appl. Phys. Lett. **66**, 1767 (1995)
- [49] P. N. BROUNKOV, A. POLIMENI, S. T. STODDART, M. HENINI, L. EAVES, P. C. MAIN, A. R. KOVSH, Y. G. MUSIKHIN und S. G. KONNIKOV: *Electronic structure of self-assembled InAs quantum dots in GaAs matrix*. Appl. Phys. Lett. **73**, 1092 (1998)
- [50] P. N. BRUNKOV, A. PATANÉ, A. LEVIN, L. EAVES, P. C. MAIN, Y. G. MUSIKHIN, B. V. VOLOVIK, A. E. ZHUKOV, V. M. USTINOV und S. G. KONNIKOV: *Photocurrent and capacitance spectroscopy of Schottky barrier structures incorporating InAs/GaAs quantum dots*. Phys. Rev. B **65**, 085326 (2002)
- [51] S. SAUVAGE, P. BOUCAUD, F. H. JULIEN, J.-M. GÉRARD und J.-Y. MARZIN: *Infrared spectroscopy of intraband transitions in self-organized InAs/GaAs quantum dots*. Journ. Appl. Phys. **82**, 3396 (1997)
- [52] R. J. WARBURTON, C. S. DÜRR, K. KARRAI, J. P. KOTTHAUS, G. MEDEIROS-RIBEIRO und P. M. PETROFF: *Charged Excitons in Self-Assembled Semiconductor Quantum Dots*. Phys. Rev. Lett. **79**, 5282 (1997)
- [53] K. H. SCHMIDT, G. MEDEIROS-RIBEIRO und P. M. PETROFF: *Photoluminescence of charged InAs self-assembled quantum dots*. Phys. Rev. B **58**, 3597 (1998)
- [54] S. LÜTTJOHANN, C. MEIER, A. LORKE, D. REUTER und A. D. WIECK: *Screening effects in InAs quantum-dot structures observed by photoluminescence and capacitance-voltage spectra*. Appl. Phys. Lett. **87**, 163117 (2005)
- [55] I. HAPKE-WURST, U. ZEITLER, R. J. HAUG und K. PIERZ: *Mapping the g factor anisotropy of InAs self-assembled quantum dots*. Physica E **12**, 802 (2002)
- [56] K. H. SCHMIDT, C. BOCK, M. VERSEN, U. KUNZE, D. REUTER und A. D. WIECK: *Capacitance and tunneling spectroscopy of InAs quantum dots*. Journ. Appl. Phys. **95**, 5715 (2004)
- [57] C. W. J. BEENAKKER: *Theory of Coulomb-blockade oscillations in the conductance of a quantum dot*. Phys. Rev. B **44**, 1646 (1991)
- [58] D. G. AUSTING, S. SASAKI, S. TARUCHA, S. M. REIMANN, M. KOSKINEN und M. MANNINEN: *Ellipsoidal deformation of vertical quantum dots*. Phys. Rev. B **60**, 11514 (1999)

- [59] A. LORKE: *Habilitationsschrift*. LMU München (1999)
- [60] O. MADELUNG, M. SCHULZ, und H. WEISS (Hg.): *Landolt-Börnstein, New Ser. III, Vol. 17, Semiconductors, Subvol. 2a*. Springer (1982)
- [61] C. R. PIDGEON, D. L. MITCHELL und R. N. BROWN: *Interband Magnetoabsorption in InAs and InSb*. Phys. Rev. **154**, 737 (1967)
- [62] O. WIBBELHOFF: *Transportspektroskopie von selbstorganisierten InAs-Quantenpunkten*. Diplomarbeit, GMU Duisburg (2002)
- [63] G. MEDEIROS-RIBEIRO, J. M. GARCIA und P. M. PETROFF: *Charging dynamics of InAs self-assembled quantum dots*. Phys. Rev. B **56**, 3609 (1997)
- [64] R. K. GOODALL, R. J. HIGGINS und J. P. HARRANG: *Capacitance measurements of a quantized two-dimensional electron gas in the regime of the quantum Hall effect*. Phys. rev. B **31**, 6597 (1985)
- [65] D. V. LANG und R. A. LOGAN: *Trapping characteristics and a donor-complex (DX) model for the persistent-photoconductivity trapping center in Te-doped $Al_xGa_{1-x}As$* . Phys. Rev. B **19**, 1015 (1979)
- [66] M. RUSS: *Transportspektroskopie an gekoppelten zwei- und nulldimensionalen Elektronensystemen*. Diplomarbeit, Gerhard Mercator Universität Duisburg (2002)
- [67] M. RUSS, A. LORKE, D. REUTER und P. SCHAFMEISTER: *Self-assembled quantum dots as probes for Landau-level spectroscopy*. Physica E **22**, 506 (2004)
- [68] T. ANDO und Y. UEMURA: *Theory of Quantum Transport in a Two-Dimensional Electrons System under Magnetic Fields I. Characteristics of Level Broadening and Transport under Strong Fields*. J. Phys. Soc. Jpn. **36**, 959 (1974)
- [69] X. C. XIE, Q. P. LI und S. DAS SARMA: *Density of states and thermodynamic properties of a two-dimensional electron gas in a strong external magnetic field*. Phys. Rev. B **42**, 7132 (1990)
- [70] W. XU und P. VASILOPOULOS: *Self-consistent density of states for heterostructures in strong magnetic fields*. Phys. Rev. B **51**, 1694 (1995)
- [71] E. GORNIK, R. LASSNIG, G. STRASSER, H. L. STÖRMER, A. C. GOSSARD und W. WIEGMANN: *Specific Heat of Two-Dimensional Electrons in GaAs-GaAlAs Multilayers*. Phys. Rev. Lett. **54**, 1820 (1985)

-
- [72] J. K. WANG, J. H. CAMPBELL und D. C. TSUI: *Heat capacity of the two-dimensional electron gas in GaAs/Al_xGa_{1-x}As multiple-quantum-well structures*. Phys. Rev. B **38**, 6174 (1988)
- [73] S. DAS SARMA und X. C. XIE: *Strong-Field Density of States in Weakly Disordered Two-Dimensional Electron Systems*. Phys. Rev. Lett. **61**, 738 (1988)
- [74] J. P. EISENSTEIN, H. L. STORMER, V. NARAYANAMURTI, A. Y. CHO, A. C. GOSSARD und C. W. TU: *Density of States and de Haas-van Alphen Effect in Two-Dimensional Electron Systems*. Phys. Rev. Lett. **55**, 875 (1985)
- [75] A. POTTS, R. SHEPHERD, W. G. HERRENDEN-HARKER, M. ELLIOTT, C. L. JONES, A. USHER, G. A. C. JONES, D. A. RITCHIE, E. H. LINFIELD und M. GRIMSHAW: *Magnetization studies of Landau level broadening in two-dimensional electron systems*. Journ. of Physics - Cond. Mat. **8**, 5189 (1996)
- [76] M. P. SCHWARZ, M. A. WILDE, S. GROTH, D. GRUNDLER, C. HEYN und D. HEITMANN: *Sawtoothlike de Haas-van Alphen oscillations of a two-dimensional electron system*. Phys. Rev. B **64**, 245315 (2002)
- [77] T. P. SMITH III, W. I. WANG und P. J. STILES: *Two-dimensional density of states in the extreme quantum limit*. Phys. Rev. B **34**, 2995 (1986)
- [78] M. ZHU, A. USHER, A. J. MATTHEWS, A. POTTS, M. ELLIOTT, W. G. HERRENDEN-HARKER, D. A. RITCHIE und M. Y. SIMMONS: *Magnetization measurements of high-mobility two-dimensional electron gases*. Phys. Rev. B **67**, 155329 (2003)
- [79] S. LURYI: *Quantum capacitance devices*. Appl. Phys. Lett. **52**, 501 (1988)
- [80] M. GRUNDMANN, O. STIER und D. BIMBERG: *InAs/GaAs pyramidal quantum dots: Strain distribution, optical phonons and electric structure*. Phys. Rev. B **52**, 11969 (1995)
- [81] J. H. DAVIES: *Elastic and piezoelectric fields around a buried quantum dot: A simple picture*. Journ. Appl. Phys. **84**, 1358 (1998)
- [82] J. H. DAVIES: *Persönliche Mitteilung* (2005)
- [83] H. KATO, F. M. PEETERS und S. E. ULLOA: *The remote plasmon polaron*. Europhys. Lett. **45**, 235 (1999)

- [84] P. C. MAIN, A. S. G. THORNTON, R. J. A. HILL, S. T. STODDART, T. IHN, L. EAVES, K. A. BENEDICT und M. HENINI: *Landau-Level Spectroscopy of a Two-Dimensional Electron System by Tunneling through a Quantum Dot*. Phys. Rev. Lett. **84**, 729 (2000)
- [85] T. P. SMITH, B. B. GOLDBERG, P. J. STILES und M. HEIBLUM: *Direct measurement of the density of states of a two-dimensional electron gas*. Phys. Rev. B **32**, 2696 (1985)
- [86] M. RUSS, C. MEIER, A. LORKE, D. REUTER und A. D. WIECK: *The role of quantum capacitance in coupled low-dimensional electron systems*, eingereicht bei Phys. Rev. B
- [87] H. SAKAKI, G. YUSA, T. SOMEYA, Y. OHNO, T. NODA, H. AKIYAMA, Y. KADOYA und H. NOGE: *Transport properties of two-dimensional electron gas in AlGaAs/GaAs selectively doped heterojunctions with embedded InAs quantum dots*. Appl. Phys. Lett. **67**, 3444 (1995)
- [88] A. A. ZHUKOV, C. WEICHSEL, S. BEYER, S. SCHNÜLL, C. HEYN und W. HANSEN: *Transport properties of a two-dimensional electron gas in the vicinity of quantum dots in the limit of strong disorder*. Phys. Rev. B **67**, 125310 (2003)
- [89] T. KAWAZU, T. NODA, H. KIM, J. IRISAWA, T. YAMABANA, G. YUSA, C. METZENER und H. SAKAKI: *Scattering of 2D Electrons by Self-Organized Anti-Dots in n-AlGaAs/GaAs Heterojunction Channels*. phys. stat. sol. (b) **224**, 707 (2001)
- [90] T. KAWAZU, T. NODA und H. SAKAKI: *Inelastic scattering processes in GaAs/n-AlGaAs selectively doped heterojunctions with InGaAs quantum dots*. Physica E **21**, 536 (2004)
- [91] T. KAWAZU und H. SAKAKI: *Temperature dependence of the inelastic scattering in a n-AlGaAs selectively doped heterojunction with InGaAs quantum dots*. Physica E **29**, 593 (2005)
- [92] J. J. FINLEY, M. SKALITZ, M. ARZBERGER, A. ZRENNER, G. BÖHM und G. ABSTREITER: *Electrical detection of optically induced charge storage in self-assembled InAs quantum dots*. Appl. Phys. Lett. **73**, 2618 (1998)
- [93] M. KROUTVAR, Y. DUCOMMUN, J. J. FINLEY, M. BICHLER, G. ABSTREITER und A. ZRENNER: *Wavelength selective charge storage in self-assembled InGaAs/GaAs quantum dots*. Appl. Phys. Lett. **83**, 443 (2003)

- [94] M. J. KIRTON und M. J. UREN: *Noise in solid-state microstructures: A new perspective on individual defects, interface states and low-frequency ($1/f$) noise*. Adv. Phys. **38**, 367 (1989)
- [95] M. XIAO, I. MARTIN, E. YABLONOVITCH und H. W. JIANG: *Electrical detection of the spin resonance of a single electron in a silicon field-effect transistor*. Nature **430**, 435 (2004)
- [96] M. A. FISHER, A. R. ADAMS, O. E. P. und J. J. HARRIS: *Resonant Electron Scattering Due to the Central Cells of Impurities Observed in AlGaAs under Hydrostatic Pressure*. Phys. Rev. Lett. **59**, 2341 (1987)
- [97] T. IHN, H. CARMONA, P. C. MAIN, L. EAVES und M. HENINI: *Magnetic-field-induced resonant tunneling in parallel two-dimensional systems*. Phys. Rev. B **54**, R2315 (1996)
- [98] T. V. SHAHBAZIAN und S. E. ULLOA: *Resonant Scattering in a Strong Magnetic Field: Exact Density of States*. Phys. Rev. Lett. **79**, 3478 (1997)
- [99] H.-Z. SONG, S. LAN, K. AKAHANE, K.-Y. JANG, Y. OKADA und M. KAWABE: *Effect of Charge Distribution in Quantum Dots Array on Two-Dimensional Electron Gas*. Jpn. J. Appl. Phys. **39**, 5746 (2000)
- [100] S. LURYI und R. F. KAZARINOV: *Theory of quantized Hall effect at low temperatures*. Phys. Rev. B **27**, 1386 (1983)
- [101] R. D. JÄGGI, M. VON WALDKIRCH, T. HEINZEL, E. RIBEIRO, K. ENSSLIN, G. MEDEIROS-RIBEIRO und P. M. PETROFF: *Magnetic field dependence of the metal-insulator transition in Ga[Al]As-heterostructures*. Physica E **6**, 264 (2000)
- [102] G. H. KIM, J. T. NICHOLLS, S. I. KHONDAKER, I. FARRER und D. A. RITCHIE: *Tuning the insulator-quantum Hall liquid transitions in a two-dimensional electron gas using self-assembled InAs*. Phys. Rev. B **61**, 10910 (2000)
- [103] J. E. FURNEAUX und T. L. REINECKE: *Effects of interface charge on the quantum Hall effect*. Phys. Rev. B **33**, 6897 (1986)
- [104] K. IMAMURA, Y. SUGIYAMA, Y. NAKATA, S. MUTO und N. YOKOYAMA: *New Optical Memory Structure Using Self-Assembled InAs Quantum Dots*. Jpn. J. Appl. Phys. **34**, L 1445 (1995)

- [105] G. YUSA und H. SAKAKI: *Trapping of photogenerated carriers by InAs quantum dots and persistent photoconductivity in novel GaAs/n-AlGaAs field-effect transistor structures*. Appl. Phys. Lett. **70**, 345 (1997)
- [106] A. J. SHIELDS, M. P. O'SULLIVAN, I. FARRER, D. A. RITCHIE, K. COOPER, C. L. FODEN und M. PEPPER: *Optically induced bistability in the mobility of a two-dimensional electron gas coupled to a layer of quantum dots*. Appl. Phys. Lett. **74**, 735 (1999)
- [107] A. J. SHIELDS, M. P. O'SULLIVAN, C. E. FARRER, I. AND NORMAN, D. A. RITCHIE, K. COOPER und M. PEPPER: *Optical control of the mobility of a MODFET with a layer of self-assembled quantum dots*. Physica E **7**, 479 (2000)
- [108] K. KOIKE, S. SASA, M. INOUE und M. YANO: *Electron transport in submicron-scale AlGaAs/GaAs field effect transistor with InAs nanodots as the floating gate*. J. Vac. Sci. Technol. B **21**, 710 (2003)
- [109] J. S. WANG, J. F. CHENG, J. L. HUANG und P. Y. WANG: *Carrier distribution and relaxation-induced defects of InAs/GaAs quantum dots*. Appl. Phys. Lett. **77**, 3027 (2000)
- [110] N. A. HASTAS, C. A. DIMITRIADIS, L. DOZSA, E. GOMBIA und R. MODCA: *Characterization of traps related to InAs quantum-dot growth-induced defects in GaAs by low-frequency noise measurements in reverse-biased Schottky diodes*. Journ. Appl. Phys. **93**, 5833 (2003)
- [111] H. W. JIANG, C. E. JOHNSON und K. L. WANG: *Giant negative magnetoresistance of a degenerate two-dimensional electron gas in the variable-range hopping regime*. Phys. Rev. B **46**, 12830 (1992)
- [112] E. RIBEIRO, R. D. JÄGGI, T. HEINZEL, K. ENSSLIN, G. MEDEIROS-RIBEIRO und P. M. PETROFF: *Metal-Insulator transitions in a Disordered Two-Dimensional Electron Gas in GaAs-AlGaAs at Zero Magnetic Field*. Phys. Rev. Lett. **82**, 996 (1999)

Danke!

- Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Axel Lorke für die Möglichkeit an diesem spannenden Thema selbstorganisiert zu arbeiten. Seine motivierenden und fachkundigen Ratschläge haben der Arbeit immer wieder neuen Schwung gegeben.
- Prof. Dr. Andreas D. Wieck und Dr. Dirk Reuter von der Ruhr-Universität Bochum danke ich vielmals für das Wachstum der wirklich exzellenten Quantenpunktproben. Ohne diese Proben wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.
- Prof. Dr. John H. Davies danke ich für seinen Besuch in unserer Arbeitsgruppe und die sehr intensiven und aufschlussreichen Diskussionen.
- Dr. Cedrik Meier danke ich für zahlreiche amüsante Gespräche und für das genaue Korrekturlesen dieser Arbeit.
- Bei Bastian Marquardt möchte ich mich für die Hilfen und die Unterstützung in der Endphase der Arbeit bedanken.
- Dr. Ramona Nünthel und David Krix danke ich für das präzise Korrekturlesen weiterer Teile dieser Arbeit. Alle noch verbliebenen Fehler sind meine eigenen!
- Bei Stephan Lüttjohann möchte ich mich für die prima Zeit als Büronachbarn und für die Hilfen bei der optischen Spektroskopie bedanken.
- Peter Pfänder danke ich für die Hilfe beim Benutzen des Heliox und für gelegentliche Muffins/Pizzen.
- Bei den Mitarbeitern der Arbeitsgruppe von Prof. M. Farle und insbesondere bei Burkhard Stahlmecke möchte ich mich für die Hilfen bei der „Lithografie mit Elektronen“ bedanken.
- Allen studentischen Hilfskräften danke ich für ihre zuverlässige und tatkräftige Unterstützung.
- Allen Mitgliedern der Arbeitsgruppe danke ich für das immer gute und produktive Arbeitsklima, sowie für schöne „Kaffestunden“ und Mittagspausen.
- Bei meiner Familie möchte ich mich an dieser Stelle für die moralische Unterstützung und die mir in der Endphase dieser Arbeit gegebenen Freiräume bedanken.